

論文 含水状態が異なる再生粗骨材を使用したコンクリートの諸特性

島崎磐*1・国枝稔*2・鎌田敏郎*3・六郷恵哲*4

要旨: 再生粗骨材の吸水率は品質評価の指標に用いられているが、この値は比較的大きく、測定方法によってはバラツキがある。本研究では、気乾状態等の再生粗骨材について浸水した後の含水率に関する経時変化の一測定手法を提案することで、浸水直後の含水率の変化性状を明確に示すことができた。さらに、含水状態の異なる再生粗骨材を使用したコンクリートのスランプや強度特性を調べ、同程度のスランプにおいて気乾状態の再生粗骨材を使用したコンクリート(再生コンクリートとする)は表乾状態の場合より圧縮強度が増大することを明らかにした。

キーワード: 再生粗骨材, 気乾状態, 吸水率, スランプ, 圧縮強度

1. はじめに

コンクリートのリサイクルは、環境保全や資源の有効利用の観点から積極的に検討していく必要がある。解体コンクリートを破碎処理して得た再生粗骨材(再生粗骨材とする)は、これまで路盤材などに多く使用されてきた。しかし、最近では、破碎処理技術の向上によって再生粗骨材をコンクリートの骨材として利用する例^{1),2)}もあり、今後多くの研究開発³⁾が進む中で益々の利用拡大が期待されている。再生粗骨材は、原粗骨材、モルタルあるいは原粗骨材にモルタルが付着したもので構成されているため、この付着モルタル量によって吸水率やその他の品質が大きく異なってくる。従来、再生粗骨材をコンクリートの骨材に用いる場合は表乾状態かあるいは湿潤状態にして練混ぜを行っている。

また、耐久性が要求される場合には再生粗骨材の破碎処理程度を高くして、モルタル混入率や吸水率を低減させるなどの工夫により対処している。本研究では、実験1で、浸水時間の違いによる再生粗骨材の含水状態の変化特性について検討し、さらに、実験2において、含水状態の異なる再生粗骨材を使用した場合、練混ぜ後の経時変化によるスランプや強度特性について実験的に比較検討するものである。

2. 実験1

2.1 実験概要

(1) 使用骨材

本実験に使用した再生粗骨材は、表-1に示すように原コンクリート強度が高強度のものをA、低強度のものをCとして、破碎処理程度の

表-1 再生粗骨材一覧

原コンクリート		破碎時強度(56.1MPa)			破碎時強度(24.4MPa)	
粗骨材の種類	原骨材	破碎1	破碎2	破碎3	破碎1	破碎3
粗骨材記号	VC	A1	A2	A3	C1	C3
モルタル混入率(%)	—	34.3	23.0	19.8	33.8	17.3
吸水率(%)	0.94	5.03	4.38	3.4	5.95	4.35
表乾比重	2.65	2.43	2.47	2.53	2.39	2.48

*1 岐阜工業高等専門学校教授 環境都市工学科 (正会員)

*2 岐阜大学助手 工学部土木工学科 工修 (正会員)

*3 岐阜大学助教授 工学部土木工学科 工博 (正会員)

*4 岐阜大学教授 工学部土木工学科 工博 (正会員)

低いものが1で高いものが3とした。また、原コンクリートに使用した原粗骨材をVCとした。気乾あるいは絶乾状態の再生粗骨材は表-1の骨材を室内放置による乾燥あるいは炉乾燥して使用した。なお、モルタル混入率は謝辞で示した研究プロジェクトで測定された値である。

(2) 浸水後含水率の測定

骨材を一定時間浸水させた後取り出し、骨材表面を表乾状態にしたときの含水率（浸水後含水率とする）を以下の2方法によって測定した。

測定法1：同種類の再生粗骨材を8等分にした約2kg程度の試料を採取する。採取した試料を一定時間浸水させ、所定の時間が経過した後順次取り出し、骨材表面の水分を布で拭き取り表乾状態にして含水率を算出した。

測定法2：粗骨材の吸水量試験法による方法を所定の時間毎に適用して、再生粗骨材の水中における見掛けの質量（水中重量とする）を連続的に測定し、24時間後に算出した吸水率から逆算して各時間毎の含水率を求めた。すなわち、測定後の吸水率を Q_a (%)とし、骨材の浸水 t 時間後の水中重量を W_t とすると、浸水後含水率 Q_{at} (%)は以下に示すようになる。ただし、再生粗骨材の絶乾状態の重量を W_0 、また、浸水直後の骨材のみの水中重量を $W_{t=0}$ とする。

$$W_{t=0} = W_{t=24} - W_0 \cdot Q_a / 100$$

となり、 $t > 0$ における浸水後含水率 Q_{at} は

$$Q_{at} = 100 (W_t - W_{t=0}) / W_0$$

で算出できるとした。

2.2 実験結果

(1) 2測定法による浸水後含水率

図-1は、表-1における再生粗骨材のA1およびA3について、上記の測定法1で得た結果を各時間毎にプロットし浸水時含水率の変化を示したものである。これは、絶乾状態の再生粗骨材を浸水させて60分までを示したものであるが、A1、A3いずれも浸水後の測定値に比較的大きなバラツキが見られる。このバラツ

キは、各経過時間毎の測定試料が別々であることに起因している。したがって、測定法1では浸水直後における同一試料の浸水後含水率の経時特性を評価することは難しいと思われる。図-2は上記の2測定法によって得た結果を示す。これは絶乾状態の再生粗骨材C1を用いて、それぞれの性状比較を行った。これによると、

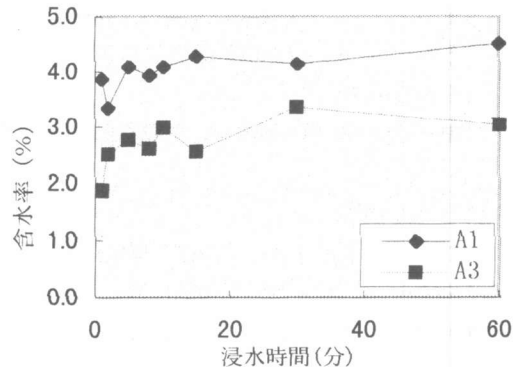


図-1 再生粗骨材の浸水時含水率変化

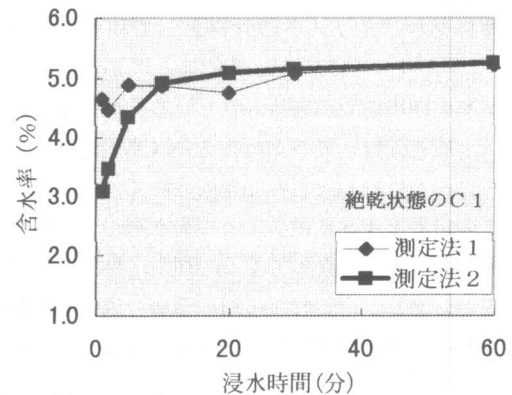


図-2 測定方法による浸水時含水率変化

測定法2の方法は連続的な性状を明確に表現でき、しかも、浸水直後の特性がよく現されていることが分かる。一方、測定法1の方法に従うと、浸水直後の数分間は測定法2よりバラツキがやや見られ、値も大きくなった。測定法1は、浸水中の再生粗骨材を表乾状態にするのに手間取って骨材が表面水を吸水する。その結果、浸水後含水率は大きくなるため、浸水後の一時点

での含水率とは言い難い面がある。しかし、再生粗骨材を60分程度浸水させた段階では、いずれの方法で測定を行っても浸水後含水率にほとんど測定法の影響がなかった。

(2) 異なる含水状態の浸水後含水率

測定法2に従って表-1の各再生粗骨材の浸水後含水率を測定したが、その結果はすべて図-2の測定法2による場合と同じ性状であった。そこで、一例として、気乾状態の再生粗骨材(数値は含水率)A1およびC1, また、絶乾状態の再生粗骨材A3およびC3について、それぞれの吸水率に対する浸水後含水率の割合を含水

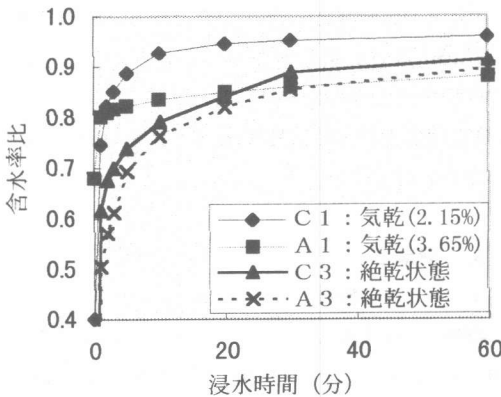


図-3 再生粗骨材浸水後含水率比

率比として、その経時変化を図-3に示した。これによると、10分程度までは、すべての再生粗骨材において吸水が速く、以降は緩やかである。そして、60分を経過すると、ほとんどの再生粗骨材は吸水率の90%程度まで吸水する。また、破碎時の強度や破碎処理程度が低いほど早く吸水を完了するものと考えられる。図-4は、絶乾状態における再生粗骨材と原骨材の浸水後含水率を比較したものである。これによると、原骨材の吸水率は再生粗骨材に比べて極めて小さいため、浸水直後における含水率の変化が現れず、緩やかな漸増を示している。また、再生粗骨材C1, C3と原骨材VCにおける20分以降の浸水後含水率はいずれも同程度

で僅かな増加傾向を示している。このことより、再生粗骨材は浸水後20~30分を経過すれば、付着モルタル部分の浸水は満たされて以後は原骨材が吸水する過程であると推測できる。

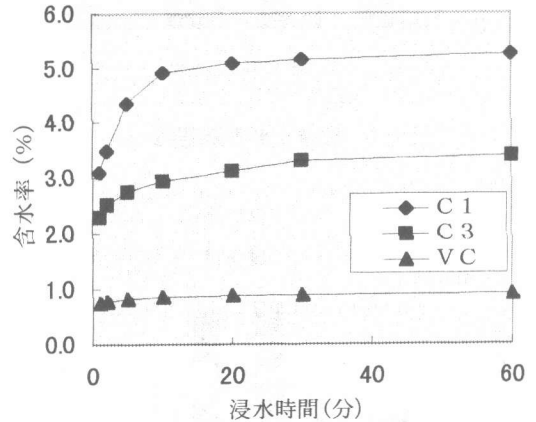


図-4 各粗骨材の浸水時含水率

(3) 再生粗骨材の粒度と吸水率

再生粗骨材の各粒径(5~10, 10~15, 15~20, 20~25mm)毎に10個をランダムに採取し、それぞれ骨材一個ごとに吸水率試験を行った。各粒径毎の平均吸水率と粒径の中央値との関係を図-5に、また、各粒径10個の吸水率の標準偏差との関係を図-6に示した。なお、再生粗骨材A1の粒径5~10mmと20~25mmでは40個について吸水率試験を行った。その結果の平均吸水率と標準偏差は10個分と余り変わらない値であった。そこで、40個分の再生粗骨材については個々の吸水率を2%毎の階級で区分し、

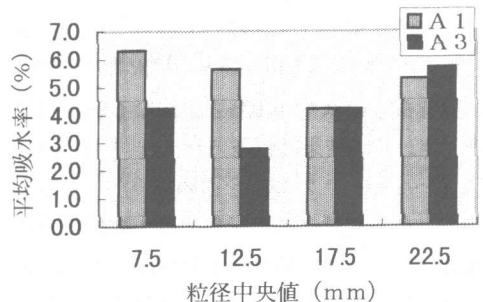


図-5 粒径と平均吸水率

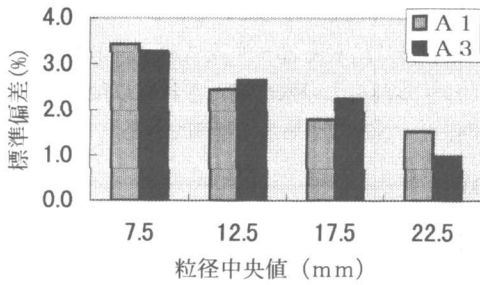


図-6 粒径と標準偏差値

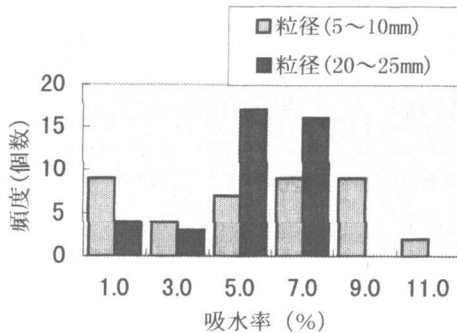


図-7 吸水率の階級別頻度

各階級毎の吸水率と頻度（個数）との関係を図-7に示した。図-5によれば、再生粗骨材の平均吸水率は粒径に影響を受けることが分かる。すなわち、粒径が15mm付近で最も平均吸水率が小さくなっている。さらに、破碎処理程度を高めることによる吸水率の低減効果は、粒径が小さいほど大きいといえる。また、図-6によると、破碎処理程度には関係なく粒径が大きくなるほど、標準偏差は小さくなりバラツキの小さいことを示している。このことは再生粗骨材A1について示した図-7からも明らかであり、既往の実験結果⁴⁾とも一致している。また、前述した再生粗骨材40個の個々の吸水率が各粒径で、原骨材の吸水率0.94%以下になる個数割合を調べた。その結果は粒径5~10mmで12.5%、粒径20~25mmで2.5%、を占めていた。このことから、再生粗骨材の構成集団は小粒径部分には原骨材やモルタル分だけの骨材が、また、大粒径部分には原骨材にモルタルが付着した骨材が多く混在していると推定できる。したがって、

再生粗骨材をふるい分け、粒径を選択して用いることにより再生コンクリートの品質をコントロールすること等も可能となるものと考えられる。

2.3 実験1のまとめ

再生粗骨材の吸水特性について原コンクリートの強度や破碎処理程度および含水率の異なる場合について評価検討した結果、以下の結論が得られた。

- (1) 再生粗骨材の浸水後の含水率は継続的に水中重量を測定する方法で評価できる。
- (2) 再生粗骨材の付着モルタル部分への吸水は含水率や原コンクリートの強度には関係なく、20~30分で完了する。
- (3) 吸水率は粒径に依存し、そのバラツキの影響は粒径の小さい再生粗骨材ほど大きい。また、中間粒径の吸水率は小さくなる。
- (4) 破碎処理程度による吸水率の低減効果は粒径が小さいほど高い。

3. 実験2

3.1 実験の概要

実験2で使用したコンクリートの示方配合を表-2に示す。また、使用したすべての再生粗骨材は実験1の表-1に示した原コンクリートの高強度の再生粗骨材である。細骨材は揖斐川産の洗浄砂（表乾比重2.62、吸水率1.44%）をすべて湿潤状態のものを水量補正して使用した。気乾状態の再生粗骨材については含水率を考慮して水量補正を行った。再生コンクリートの圧縮供試体（ $\phi 10 \times 20$ cm）は、練混ぜ後10分と90分で各3本を、経時スランブが10cm程度となる時間で3本を採取した。また、コンクリートは室温が約10℃の室内で手練とし、供試体の締固めは棒状バイブレーターを使用した。コンクリート打設後1日で脱型し、載荷試験（材齢14日）直前まで標準養生を行った。

3.2 実験結果

(1) スランブの経時変化

表-2 示方配合

最大骨材寸法 (mm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位重量(kg/m ³)			
			水	セメント	細骨材	粗骨材
25	50	41	180	360	747	1005

表乾状態の骨材を使用した普通コンクリートのスランブロスが経過時間に伴って大きくなることは衆知の通りである。図-8, 9は含水率

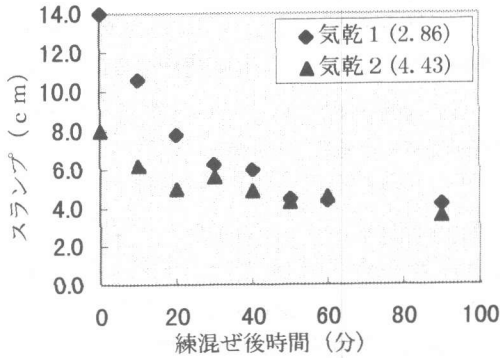


図-8 A1のスランブ経時変化

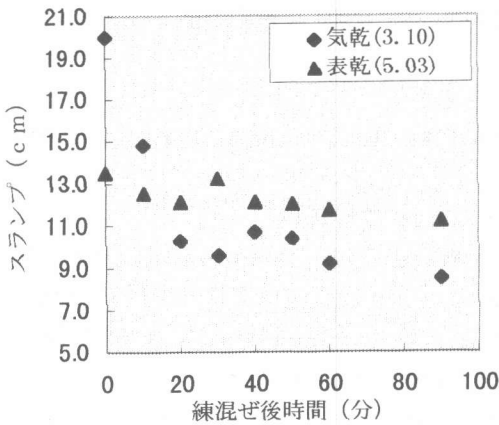


図-9 A2のスランブ経時変化

の異なった再生骨材A1およびA2を使用した場合の再生コンクリートのスランブの経時変化を示す。図において気乾1, 2の含水率は2.86%, 4.43%で各吸水率のそれぞれ約57%, 88%に当たる。また, A2の気乾含水率は3.10%で吸水率の約70%である。さらに, 図-9の気乾における練混ぜ直後のスランブ値は崩れ落ちたものである。この両図を比較すると、破碎処理

程度の高い再生粗骨材A2を使用した場合のスランブが全体的に大きく現れた。再生粗骨材の破碎処理程度が高くなると付着モルタル混入率は小さくなり, 再生粗骨材の付着モルタル部分が吸水する水の絶対量は破碎処理程度の低いA1に比較して少なくなる。その結果として自由水が多くなり, A2の場合はスランブが大きくなって現れたと言える。また, 含水率の異なる再生粗骨材を使用した場合には図-8, 9からも分かるように含水率が小さい方が練混ぜ直後のスランブは大きくなり, いずれも時間の経過とともに格差は小さくなっている。また, 図-9の気乾の場合では練混ぜ経過後に表乾状態よりスランブが小さくなっている。

一方, スランブロスは気乾状態の再生粗骨材A1およびA2共に似通っており, いずれも, 練混ぜ後20分までのスランブロスが大きく, 図-9の表乾状態の再生粗骨材を使用した場合と異なった特性を示した。これらのことは, 実験1の結果の浸水後20分までにほとんど吸水が完了することと対応している。すなわち, このスランブロスは付着モルタルの存在と関係が深いと考えられる。再生粗骨材A2の表乾状態のスランブロスには急減する変化性状は見られなく, 従来の普通コンクリートの場合⁵⁾と一致した傾向にある。

(2) 圧縮強度の特性

練混ぜ後時間10分と90分の圧縮強度を図-10, 11に示す。また, 同図のグラフ頭上には供試体作成時のスランブ値(cm)を記した。

図-10によると, 含水率の高い再生粗骨材を使用した気乾2の場合に圧縮強度が最も大きくなった。さらに, コンクリート打設後90分を経過すると含水率の小さい気乾1の場合はスランブが小さくなって強度も増大するが, 含水

率の高い気乾2の場合にはスランブが小さくなっているにも拘わらず圧縮強度の伸びはみられない。このことは、図-11の再生粗骨材

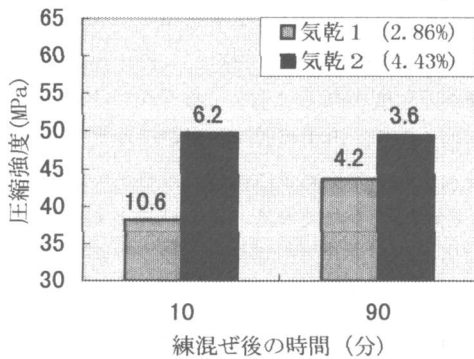


図-10 A1の圧縮強度

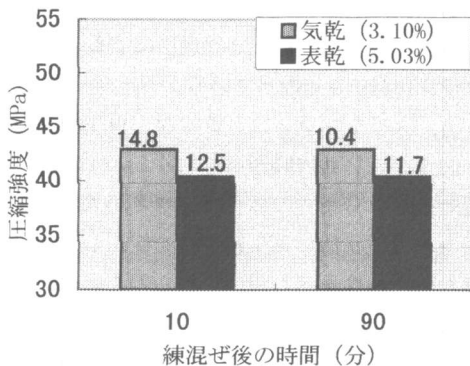


図-11 A2の圧縮強度

A2の表乾状態の場合も同様に、スランブが小さくなり圧縮強度も減少する結果となった。

3.3 実験2のまとめ

含水率の異なる再生粗骨材を用いた再生コンクリートのスランブと強度特性について実験的な検討を加えた結果、以下のような結論が得られた。

(1) 再生粗骨材の破碎処理が同程度であれば、コンクリート練混ぜ直後のスランブは含水率の小さいほど大きく、20～30分経過後にはほぼ安定した状態になる。

(2) 気乾状態の再生粗骨材を使用する場合は同程度のスランブにおいて表乾状態の場合より

圧縮強度は大きくなる。

4. 結論

本文では、まず再生粗骨材の吸水後における含水率の経時変化性状を把握し、骨材の粒径とその平均吸水率との関係を明らかにした。そして、再生コンクリートのスランブロスについて検討し、練混ぜ直前における骨材の含水率の影響が大きいことを確認した。さらに、気乾状態の再生粗骨材を使用した場合、表乾状態の場合より小さな単位水量で同一スランブの配合や強度の改善が期待できることを提言した。

謝辞：本研究は、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業（研究プロジェクト番号：96R07601）より援助を受けて行ったものである。ここに記して謝意を表します。また、本研究の遂行にあたり、岐阜高専環境都市工学科学生 葛西雄介、桑山一嘉、寺境則繁 君に多大な協力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 岩城 登 ほか：廃品コンクリートの電柱のリサイクル，コンクリート工学，Vol. 35，No. 5，pp. 12～18，1997
- 2) 柳 啓 ほか：再生コンクリートの場所打ちコンクリート杭への適用性に関する一実験，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 20，No. 2，pp. 1111～1116，1998
- 3) 長瀧重義 ほか：再生粗骨材を用いたコンクリートの諸特性，セメント・コンクリート論文集，No. 52，pp. 462～467，1998
- 4) たとえば，阿部道彦：技術フォーラム，資源の有効利用とコンクリート 第2回 再生骨材を用いたコンクリート，コンクリート工学，Vol. 33，No. 12，pp. 110～116，1995
- 5) たとえば，日本コンクリート工学協会：コンクリート便覧（第二版），pp. 418，1996